

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 21620100153911

UDC_____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

广东湛江红树林湿地生态系统碳收支及其
对环境变化的响应

Carbon Budgets in A Mangrove Ecosystem of Zhanjiang,
Guangdong Province, China and Their Responses to
Environmental Changes

卢 伟 志

指导教师姓名: 林光辉 教 授

郑海雷 教 授

陈鹭真 副教授

专 业 名 称: 水 生 生 物 学

论文提交日期: 2013 年 04 月

论文答辩时间: 2013 年 05 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 05 月

广东湛江红树林湿地生态系统碳收支及其对环境变化的响应

卢伟志

指导教师: 林光辉 教授 郑海雷 教授 陈鹭真 副教授

厦门大学

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为“外来植物影响下红树林生态系统服务功能的维持机制”;新兴经济区滨海湿地生态系统修复技术与工程示范”等课题(组)的研究成果,获得国家自然科学基金重点项目(30930017)和国家海洋局海洋公益性行业科研专项(200905009)等经费的资助,在(厦门大学滨海湿地生态系统教育部重点实验室和清华大学深圳研究生院海洋科学与技术学部)共同完成。(请在以上括号内填写课题或者课题组负责人或者实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

2013 年 6 月 2 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其他方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均使用上述授权。

声明人(签名)：

2012 年 6 月 2 日

目 录

Table of Contents	IX
摘 要	XI
Abstract.....	1
第一章 前 言	1
1.1 蓝碳与红树林碳循环研究现状.....	1
1.2 红树林碳循环与“碳泵”学说.....	2
1.3 干扰对红树林碳循环的影响.....	5
1.3.1 外来种植对红树林碳循环的影响.....	6
1.3.2 潮汐活动对红树林碳循环的影响.....	7
1.3.3 虫害暴发对红树林碳循环的影响.....	8
1.4 生态系统碳通量的地面监测.....	9
1.4.1 涡度协方差技术的研制与进展.....	9
1.4.2 通量监测技术的应用.....	10
1.4.3 滨海湿地通量监测研究进展.....	13
1.5 本研究探讨的科学问题、研究意义与研究路线.....	14
1.5.1 科学问题.....	14
1.5.2 研究意义.....	15
1.5.3 研究技术路线.....	16
第二章 材料与方法	17
2.1 研究地点.....	17
2.1.1 地理条件.....	17
2.1.2 植被状况.....	20
2.1.3 红树林区气象状况.....	20
2.1.4 水文条件.....	26
2.2 通量监测塔与通量数据处理.....	27
2.2.1 通量监测设备.....	27

2.2.2 通量数据处理.....	28
2.3 红树林群落特征的样方调查.....	30
2.4 红树植物生物量调查.....	30
2.5 红树林凋落物收集.....	31
2.6 红树林土壤碳库测定.....	32
2.7 红树林碳库含量估算.....	32
2.7.1 红树植物碳库估算.....	32
2.7.2 红树林土壤碳库的估算.....	33
第三章 红树林生态系统碳收支	34
3.1 红树林碳储量估算.....	34
3.1.1 生长指标调查结果.....	34
3.1.2 生物量调查结果.....	37
3.1.3 高桥红树林土壤有机碳含量时间变化.....	39
3.1.4 高桥红树林碳库汇总计算.....	40
3.2 红树林碳通量.....	42
3.2.1 红树林碳通量.....	42
3.2.2 红树植物凋落物通量.....	45
3.3 红树林其它部分碳通量估算.....	50
3.4 亚热带红树林与热带红树林碳储量对比.....	50
3.5 高桥红树林生态系统碳收支框架.....	51
3.6 高桥红树林生态系统碳收支不确定性分析.....	53
3.7 小结.....	53
第四章 外来种无瓣海桑种植对红树林碳库功能的影响	54
4.1 研究背景.....	54
4.2 研究材料与方法.....	55
4.2.1 研究站点.....	55
4.2.2 研究材料与方法.....	55
4.2.3 统计分析.....	56
4.3 结果与讨论.....	56

4.3.1 无瓣海桑种植对本地红树林生态系统碳库的影响.....	56
4.3.2 无瓣海桑种植对红树林生态系统碳循环的影响.....	65
4.4 结论.....	67
第五章 全日潮和半日潮区红树林碳收支比较	68
5.1 研究背景.....	68
5.2 研究站点与潮汐概况.....	68
5.2.1 研究站点.....	68
5.2.2 全日潮与半日潮比较.....	69
5.2.3 光响应曲线拟合.....	71
5.3 全日潮和半日潮潮汐活动对红树林-大气碳通量的影响	73
5.3.1 潮汐淹水对红树林碳通量的影响.....	73
5.3.2 全日潮区与半日潮区碳通量比较.....	74
5.4 小结.....	77
第六章 虫害暴发对红树林碳收支的影响	78
6.1 研究背景.....	78
6.2 研究材料与方法.....	79
6.2.1 研究站点与虫害情况介绍.....	79
6.2.2 通量数据处理.....	80
6.2.3 MODIS 数据处理.....	80
6.2.4 桐花树凋落物和虫粪收集.....	81
6.3 虫害暴发对红树植物生长的影响.....	81
6.3.1 虫害暴发对红树林植被生长的影响.....	81
6.3.2 虫害暴发对红树林碳通量的影响.....	88
6.3.3 碳水通量相关性分析.....	90
6.4 红树林碳循环对虫害暴发的响应.....	95
6.5 小结.....	96
第七章 结论与展望	97
7.1 研究结论.....	97
7.2 研究展望.....	98

参考文献.....	100
附录 1：简略语表	117
附录 2：攻读博士学位期间发表的论文	120
致 谢.....	121

厦门大学博硕士论文摘要库

Table of Contents

Abstract(in Chinese)	IX
Abstract (in English)	XI
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Blue carbon and mangrove carbon cycle research	1
1.2 Mangrove carbon cycle and intertidal plant pump	2
1.3 Responses of mangroves carbon budgets to environmental changes	5
1.3.1 Alien species plantation effects on mangroves carbon cycle	6
1.3.2 Tidal effects on mangroves carbon fluxes	7
1.3.3 Insect outbreak effects on mangroves carbon fluxes	8
1.4 Ecosystem carbon flux measurements	9
1.4.1 Eddy covariance technique description	9
1.4.2 Eddy covariance technique application	10
1.4.3 Eddy covariance systems used in coastal wetlands	13
1.5 Scientific questions and scopes of the present study	14
1.5.1 Scientific questions	14
1.5.2 Scopes of present study	15
1.5.3 Frame and technique route of the present study	16
Chapter 2 Materials and Methods	17
2.1 Study sites	17
2.1.1 Geographical Conditions	17
2.1.2 Vegetation conditions	20
2.1.3 Meterological conditions	20
2.1.4 Hydrological condition	26
2.2 Eddy tower and eddy data processing	27
2.2.1 Equipments	27
2.2.2 Eddy data processing	28
2.3 Mangroves communities investigation	30

2.4 Biomass measurement	30
2.5 Litterfall collected	30
2.6 Soil organic carbon measurement	31
2.7 Mangroves carbon storage estimated.....	32
2.7.1 Biomass carbon storage.....	33
2.7.2 Soil carbon storage	33
Chapter 3 Carbon budget of Gaoqiao mangrove forests.....	34
3.1 Mangroves carbon storage estimated.....	34
3.1.1 Communities investigation	34
3.1.2 Biomass measurements	37
3.1.3 Soil organic carbon.....	39
3.1.4 Mangrove carbon storage estimated	40
3.2 Mangroves carbon flux.....	42
3.2.1 Mangroves eddy flux.....	42
3.2.2 Litterfall	45
3.3 The other parts of carbon flux estimated.....	50
3.4 Carbon storage comparasion with tropical mangroves.....	50
3.5 Framework of Gaoqiao mangroves carbon budget	51
3.6 Uncertainly analysis in carbon budget.....	53
3.7 Conclusions.....	53
Chapter 4 <i>Sonneratia apetala</i> plantation in native mangroves effects	
on the native mangroves carbon pool.....	54
4.1 Background	54
4.2 Material and methods.....	55
4.2.1 Study site.....	55
4.2.2 Study methods	56
4.2.3 Statistic analysis	56
4.3 Results and discussion	56
4.3.1 <i>Sonneratia apetala</i> plantation effects on the native mangroves carbon	

storage.....	56
4.3.2 <i>Sonneratia apetala</i> plantation effects on the native mangroves carbon cycle.....	65
4.4 Conclusions.....	67
Chapter 5 Carbon flux comparasion between diurnal and semidiurnal tidal regime mangroves areas.....	68
5.1 Background	68
5.2 Study sites and tidal regime	68
5.2.1 Study sites	68
5.2.2 Diurnal and semidiurnal tide	69
5.2.3 Light curves fitting	71
5.3 Carbon dynamics comparasion between two different tidal area.....	73
5.3.1 Tidal immersion effects on mangroves carbon flux	68
5.3.2 Comparison of carbon flux between diurnal and semidiurnal tidal area	69
5.4 Conclusions.....	77
Chapter 6 Insect herbivory outbreaks effects on mangroves carbon budget	78
6.1 Background	78
6.2 Material and methods.....	79
6.2.1 Study sites and insect breakout.....	79
6.2.2 Eddy data processing.....	80
6.2.3 MODIS data processing.....	80
6.2.4 Litterfall and insect excrement collection.....	81
6.3 Insect breakout effects on mangrove plants growth	81
6.3.1 Insect breakout effects on mangrove vegetation	81
6.3.2 Insect breakout effects on mangroves carbon flux	88
6.3.3 Carbon and water flux correlation analysis.....	90
6.4 Response of mangrove carbon cycle to insect breakout	95
6.5 Conclusions.....	96

Chapter 7 Conclusions and Perspectives	97
7.1 Conclusion	97
7.2 Perspectives	98
References	100
Appendix 1: Lists of abbreviation.....	117
Appendix 2: Articles published during Ph. D study.....	120
Acknowledgements	121
Colour chart.....	124

摘要

红树林是滨海湿地的主要湿地类型,也是蓝碳碳汇的主要贡献者之一,其碳汇强度以及碳循环过程是目前滨海湿地生态研究的热点问题。本文以广东湛江高桥红树林生态系统为例,通过地面植被调查、生物量测定以及碳通量观测等方法,探讨了以高桥为例的亚热带红树林生态系统碳库组成、碳通量时空变化格局以及影响碳分配和碳通量变化格局的环境因素,并尝试构建亚热带红树林生态系统碳循环过程的基本框架,解释潮间带红树植物碳泵的运行机制。同时,本文还通过对外来植物种植、潮汐影响和病虫害暴发等干扰因子的系统研究,对这些环境因子如何影响红树林生态系统碳通量及碳分配格局进行了详细阐述,主要结论如下:

(1)高桥红树林生态系统在 2010-2012 年期间表现为很强的碳吸收,其固碳强度约为 $692\sim 737\text{ g C m}^{-2}\text{ a}^{-1}$,远高于同纬度其它类型生态系统,但又明显低于热带红树林生态系统。高桥红树林生态系统总初级生产力与生态系统呼吸表现出明显的季节和年际动态,而净初级生产力季节动态并不明显。整年均表现为明显的碳吸收。

(2)通过群落调查和生物量测定对高桥红树林碳储量进行了确定,并与其他热带红树林进行对比,发现亚热带红树林植物碳库与土壤碳库均明显低于热带红树林。结合碳通量数据以及凋落物资料,量化了高桥红树林的碳循环主要交换过程。然而,由于缺少横向碳通量资料,目前还无法做到区域尺度碳收支的闭合。

(3)对在本地红树群落中引种外来种无瓣海桑带来的碳库改变以及相应的生态学问题进行了研究,我们发现种植无瓣海桑后本地红树林生态系统碳库并没有明显增加。相反,群落的碳循环大大加速,降低了红树林的碳固存效率。因此,通过在本地产红树植物群落中引种外来种无瓣海桑来增加碳库并不是行之有效的方法,在造林过程中并不值得推荐。

(4)通过对比分析,确定了全日潮区与半日潮区红树林应对潮汐活动时响应方式的差别,确定了淹水深度以及高潮时间是潮汐活动影响红树林生态系统碳交换的两个主要因素。低水位时通过水淹直接对土壤呼吸产生抑制来影响净碳交换

量,而高水位时水淹在抑制土壤呼吸的同时也限制了红树植物的光合作用,明显减弱了红树林的碳汇功能。对比发现由于云霄半日潮区潮汐的低水位特征,频繁且较浅的淹水主要体现在抑制红树林的土壤呼吸上,而对于高桥全日潮区而言,由于淹水深度比较深,潮汐淹水在抑制土壤呼吸的同时,还表现出抑制植物的光合作用。晚上潮汐淹水主要表现为抑制生态系统的土壤呼吸,而白天淹水主要表现为抑制植物的光合作用。因此,潮汐出现的时间也明显影响了红树林生态系统的碳交换量。

(5)病虫害暴发对红树林碳循环具有明显影响,主要表现为病虫害暴发期间碳汇功能明显降低,而在之后的植被恢复期间又明显上升,但这期间红树植物水分利用效率明显降低。总体而言,虫害暴发对红树林的年固碳量并没有显著的影响,但月尺度上影响极显著。证明了红树植物应对病虫害具有较高的生态弹性,受害的红树植物能够在短期内恢复生长,但对生殖生长的负面影响持续时间较长。

以上结果表明:高桥红树林作为亚热带红树林,尽管其碳储量和净生态系统初级生产力明显低于热带红树林,但其固碳潜力却十分明显。通过对主要碳循环过程的定量研究,基本建立了高桥红树林碳收支平衡,同时揭示了红树林可通过应对干扰时表现出较强的生态弹性来维持其自身的固碳功能,并及时调整碳分配格局。该红树林碳循环研究对于解释红树林物质循环等生态学问题具有明确的指导作用和补充意义,同时为政策制定者保护红树林及蓝碳管理提供了充足的证据。

关键词: 红树林; 碳库; 碳通量; 环境变化; 虫害暴发; 潮汐

Abstract

Mangrove forest, a main wetland type in the coastal area, is one of the major carbon contributors to so called “blue carbon”. Mangrove carbon sink and carbon cycle are becoming hot topics in ecological research of coastal wetlands. In this dissertation, I investigated carbon pools and carbon fluxes a subtropical mangrove ecosystem in Gaoqiao, Zhanjiang, Guangdong, China. Field surveys, biomass harvest and carbon flux measurements were used to evaluate mangrove ecosystem carbon budget and carbon allocation patterns. Based on these researches, I developed a basic framework of the carbon budget for the Gaoqiao mangrove wetland, which was usefully for interpreting intertidal plant carbon pump mechanism. In addition, effects of planting with alien mangrove species, tidal regimes and insect outbreaks on mangrove ecosystem carbon storage and fluxes were evaluated to understand how mangrove carbon cycles respond to environmental changes. The purpose of this research was to understand the characteristics of carbon pools, carbon allocation patterns and ecosystem carbon exchange under different environmental conditions. The main results and conclusions were listed as follows:

(1) Gaoqiao mangrove ecosystem maintained negative net ecosystem exchange (NEE) of CO_2 throughout the measurement period during 2010~2012, with net ecosystem productivity (NEP) of approximately $692\sim737 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, much higher than those for other terrestrial ecosystems with similar latitudes. However, the NEP values in the Gaoqiao mangrove wetland were significantly lower than those reported for several tropical mangrove forests. Furthermore, the gross primary productivity (GPP) and ecosystem respiration (R_E) of the Gaoqiao mangrove forest exhibited significant seasonal and interannual variations, but the net primary productivity (NPP) did not show any seasonal or interannual variation.

(2) Carbon pools in biomass and soils in the Gaoqiao mangrove forest were significantly lower than those of tropical mangrove forests. Based on the carbon pool

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”. Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库